

## Magnetic bearing arrangement for a rotor

Patent Number: ☐ US5777414  
Publication date: 1998-07-07  
Inventor(s): CONRAD ARMIN (DE)  
Applicant(s):: BALZERS PFEIFFER GMBH (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19529038  
Application Number: US19960694087 19960808  
Priority Number(s): DE19951029038 19950808  
IPC Classification: H02K7/09  
EC Classification: F16C39/06, H02K7/09  
Equivalents: ☐ EP0758157, A3, B1, ☐ JP9105414

---

### Abstract

---

A magnetic bearing arrangement for a rotor of a D.C. electric motor, which is rotated due to cooperation of a permanent magnet provided on the rotor and stator coils, and including a magnetic bearing, and at least one additional coil arrangement provided in a region of the permanent magnet at a side of a stator of the electric motor, and in which a voltage is induced by the rotatable permanent magnet means, with the at least one of the amplitudes and at least one of the phases of the relative geometrical position of the at least one additional coil arrangement and the permanent magnet being used as a sensor signal for stabilizing the magnetic bearing.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

DE 195 29 038 A 1

- (21) Aktenzeichen: 195 29 038.0  
(22) Anmeldetag: 8. 8. 95  
(43) Offenlegungstag: 13. 2. 97

H 02 K 7/09

H 02 K 23/04  
F 16 C 32/04

DE 195 29 038 A 1

(71) Anmelder:  
Pfeiffer Vacuum GmbH, 35614 Aßlar, DE

(72) Erfinder:  
Conrad, Armin, 35745 Herborn, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 32 08 133 C2  
DE 22 13 513 C2  
DE 23 49 033 B2  
DE 33 41 716 A1  
DE 29 05 583 A1  
EP 04 73 232 A1  
EP 01 56 730 A1  
WO 93 23 683 A1  
JP 06-3 11 699 A

SCHWEITZER, G., u.a.: Magnetlager,  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993,  
S.88-105;

VISCHER, D., BLEULER, H.: Self-Sensing Active  
Magnetic Levitation. In: IEEE Transactions On  
Magnetics, Vol.29, No.2, March 1993, S.1276- S.1281;

(54) Magnetlager für einen Rotor

(57) Die Erfindung beschreibt eine Magnetlagerung für einen Rotor mit Gleichstromantrieb. Teile der Antriebsanordnung werden zur Bestimmung der Auslenkung des Rotors aus der Mittellage verwendet. Eine oder mehrere zusätzliche Spulenordnungen und das erfindungsgemäße Zusammenwirken deren einzelnen Teile ermöglichen eine selbststabilisierende Funktionsweise der Magnetlagerung und die Vermeidung von aufwendigen Regeleinrichtungen. Die Erfindung kann auf axiale und auf radiale Magnetlagereinrichtungen angewandt werden.

DE 195 29 038 A 1

Die Erfindung betrifft ein berührungsloses und aktives Magnetlager für einen Rotor, welcher mit einem Elektromotor angetrieben wird nach dem Oberbegriff des ersten Patentanspruches.

5 Aufgrund der bekannten Vorteile von Magnetlagerungen gegenüber konventionellen Lagerungen, insbesondere bei Rotationskörpern für hohe Drehzahlen, weist der Stand der Technik eine große Anzahl von Lösungsmöglichkeiten zur magnetischen Lagerung auf. Wenn man auf mechanische Unterstützung wie bei sogenannten Hybridlagerungen verzichten und einen Rotor vollkommen berührungsfrei stabil in Magnetfeldern schweben lassen will, ist man auf elektromagnetische Felder angewiesen. Die Ansteuerung der Spulen zur Erzeugung dieser Felder erfolgt über Regelanordnungen in Abhängigkeit von Sensorsignalen, welche die jeweilige Position oder Positionsänderung des Rotors bezüglich des Stators erfassen. Bekannte Sensoren arbeiten nach optischen, induktiven oder kapazitiven Methoden. Diese Sensoren und Regelanordnungen machen einen beträchtlichen Teil der Kosten für die gesamte Magnetlagerung aus und bedeuten oft aufwendige Konstruktionsmaßnahmen.

10 Um diesen Aufwand zu reduzieren oder gar ganz zu vermeiden, wurden verschiedene Entwicklungen getätigt, welche jedoch mit so gravierenden Nachteilen behaftet sind, daß sie für den Einsatz in der Praxis nur bedingt tauglich sind.

In der EP 05 94 033 wird ein wirbelstrominduziertes Magnetlager beschrieben. Hierbei kommt durch die Ausnutzung von Induktionsströmen eine Selbstregelung zustande. Dabei dreht sich eine Scheibe aus elektrisch leitendem Material zwischen zwei Systemen von auf dem Stator paarweise angeordneten Magneten. Durch die relative Bewegung von elektrischen Leitern und Magneten werden Wirbelströme in den elektrischen Leitern induziert. Diese wiederum erzeugen ein Magnetfeld, dessen Kräfte abstoßend zwischen der rotierenden Scheibe aus elektrisch leitendem Material und den Magneten, welche auf dem Stator angebracht sind, wirken. Nähert sich die Scheibe den Magneten, werden diese Kräfte größer und bei größerer Entfernung nehmen sie ab. Dadurch kommt es zu einer Selbstregelung dieses Magnetlagersystems.

20 Diese Magnetlagerung kann von ihrem Prinzip her nur ab einer bestimmten Drehzahl funktionieren, da sie auf der relativen Bewegung zwischen Leitern und Magneten beruht. Für Stillstand, Anlauf und kleine Drehzahlen müssen zusätzliche Lagervorrichtungen vorhanden sein. Außerdem stellen die Induktionsströme eine Wärmequelle dar, die zu unzulässiger Temperaturerhöhung der Scheibe führt. Trotz erfindungsgemäßer Maßnahmen (die Scheibe so dünn zu machen, daß die von beiden Seiten induzierten Ströme sich teilweise aufheben) ist es nicht gelungen, die Temperaturen auf ein für den ständigen Betrieb zulässiges Maß zu reduzieren.

30 In der US 53 02 874 wird eine ähnliche Art der magnetischen Lagerung beschrieben. Auf dem Stator befinden sich Permanentmagnete, und der Rotor ist mit geschlossenen Leiterschleifen versehen. Diese Lagerung ist im Grunde mit den gleichen Nachteilen wie die in der EP 05 94 033 beschriebenen behaftet.

Eine Weiterentwicklung wird in der US 53 45 128 vorgestellt. Hier befinden sich auf dem Rotor gegensinnig gepolte Magnetpaare, und der Stator ist mit Spulen versehen. Bei Auslegung des Rotors aus der Mittellage werden in der Spule Ströme induziert, welche ein Magnetfeld erzeugen, dessen Kräfte so gerichtet sind, daß der Rotor wieder zentriert wird. Dadurch, daß die induzierten Ströme auf dem Stator entstehen, hat diese Lösung den Vorteil, daß die entstehende Wärme leichter abgeführt werden kann. Die Statorspulen können auch gleichzeitig als Sensoren dienen und zusätzliche Elektromagnete ansteuern. So wird es möglich, die Magnetlagerung schon bei relativ geringen Drehzahlen zu betreiben. Der Nachteil dieser Konstruktion ist eine aufwendige Magnetstruktur auf dem Rotor und Spulensysteme auf dem Stator.

40 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Magnetlager mit freischwebendem Rotor vorzustellen, welches selbststabilisierend wirkt und ohne aufwendige Sensoren und Regelanordnungen auskommt. Die Nachteile der im Rahmen des Standes der Technik beschriebenen Anordnungen sollen vermieden werden. Außerdem wird ein Zusammenwirken von Teilen der Antriebsanordnung und Teilen des Magnetlagers angestrebt.

45 Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des 1. Patentanspruches gelöst. Die Ansprüche 2—10 stellen weitere Ausgestaltungsformen der Erfindung dar.

Durch die Erfindung wird es möglich, einen Rotor ohne aufwendige Sensoren und Regelanordnungen selbststabilisierend magnetisch zu lagern. Die Verwendung von Teilen des Antriebes zur Bestimmung der Auslenkung des Rotors aus der Mittellage vereinfacht die Sensoranordnung beträchtlich. Eine oder mehrere zusätzliche Spulenanordnungen, deren einzelne Teile in der erfindungsgemäßen Art zusammengeschaltet sind, vermeiden aufwendige Regeleinrichtungen.

An Hand der Abb. 1—4 soll die Erfindung näher erläutert werden.

Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Rotors mit magnetischen Axiallager.

55 Abb. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Rotors mit magnetischen Radiallager.

Abb. 3 zeigt eine detaillierte Darstellung der Spulenanordnungen 4, 4'.

Abb. 4 zeigt eine detaillierte Darstellung der Spulenanordnungen 5, 5'.

60 In den Abb. 1 und 2 ist der Rotor mit 1 bezeichnet. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, der durch die auf dem Rotor 1 angebrachten Permanentmagnete 2 und durch die Statorspulen 3 dargestellt ist. Die Abb. 1 zeigt das axiale Magnetlager 6 und zusätzliche Spulenanordnungen 4 und 4', welche auf der Statorseite im axialen Grenzbereich der Permanentmagnete 2 des Rotors angebracht sind. Dabei ist es wichtig, daß sich die Spulenanordnungen 4 und 4' in einem gewissen axialen Abstand voneinander und auch in einem gewissen Abstand von der Mitte 12 der Permanentmagnete 2 befinden. Entsprechend zeigt die Abb. 2 das radiale Magnetlager 7 und zusätzliche Spulenanordnungen 5 und 5', welche auf dem Stator 180° versetzt zueinander und mit gleichem radialen Abstand zur Sollage des Permanentmagneten 2 des Rotors angebracht sind. Über eine Anpassungseinheit 8 werden die Sensorsignale der Spulenanordnungen 4, 4' bzw. 5, 5' den Spulen 9 bzw. 10 der Magnetlager 6 bzw. 7 zu deren Stabilisierung zugeführt. Die Anpassungseinheit 8 kann zusätzlich mit aktiven Regelementen ausgestattet sein. Die Abb. 3 zeigt, wie die Spulenanordnungen 4, 4' für das axiale Magnetlager

aufgebaut und verschaltet sind. Dabei bestehen die Spulenordnungen 4 und 4' aus jeweils zwei Teilen 4D und 4V bzw. 4'D und 4'V mit unterschiedlicher Windungszahl. Dabei weisen die Spulen 4D und 4'D bzw. 4V und 4'V jeweils gleiche Windungszahlen auf.

Befindet sich der Rotor 1 in der axialen Mittellage im Magnetlager 6 und somit in symmetrischer Lage gegenüber den Spulenordnungen 4 und 4', dann werden jeweils in den Teilen 4D und 4'D bzw. 4V und 4'V gleiche Spannungen induziert. Aufgrund der unterschiedlichen Windungszahlen in den Spulen 4D und 4V bzw. 4'D und 4'V sind die induzierten Spannungen in diesen Spulenteilen unterschiedlich.

Die Spulenteile 4D und 4'D sind derart in Serie geschaltet, daß sich die induzierten Spannungen subtrahieren und somit eine Differenzspannung entsteht. Für den Fall, daß der Rotor sich in der axialen Mittellage befindet ist die Differenzspannung null. Bei Auslenkung des Rotors aus der Mittellage wird die Differenzspannung verschieden von null. Die Amplitude dieser Differenzspannung ist ein Maß für die absolute Größe der Auslenkung. Die Richtung der Auslenkung ist jedoch allein aus der Amplitude nicht erkennbar. Dies wird erst unter Berücksichtigung der Phasenlage der Differenzspannung relativ zu einer Bezugsgröße möglich. Durch den zusätzlichen Einsatz von phaseneempfindlichen Gleichrichtern können so Größe und Richtung der Auslenkung des Rotors aus der Mittellage bestimmt werden.

Der Einsatz von phaseneempfindlichen Gleichrichtern bedeutet jedoch einen zusätzlichen Aufwand durch aktive Bauelemente, welcher gerade durch die Aufgabenstellung der Erfindung verhindert werden sollte.

Erfindungsgemäß wird zu den in den Spulen 4V und 4'V induzierten Spannungen, welche in ihrer Phasenlage um 180° verschoben sind, die Differenzspannung addiert. Unter Berücksichtigung der Phasenlage wird je nach Richtung der Rotorverschiebung entweder ein positiver oder ein negativer Wert addiert.

Somit kann allein aus den Spannungsamplituden zwischen den Punkten 41 und 42 bzw. zwischen 41 und 43 die Größe und die Richtung der axialen Verschiebung des Rotors festgestellt werden.

Die so erhaltenen Signale werden als Sensorsignale zur Stabilisierung dem Magnetlager 6 zugeführt. Dabei können bei optimaler Anpassung die Elektromagnete des Magnetlagers ohne aktive Verstärkerelemente stabilisiert werden. Die Sensorsignale können aber auch benutzt werden, um aktive Verstärkerelemente anzusteuern.

Durch die Anwendung mehrerer Spulenordnungen, welche über den Umfang des Rotors verteilt sind, z. B. 3 Spulenordnungen um je 120° versetzt bei einem 3-Phasensystem, kann für den Fall, daß das Sensorsignal gleichgerichtet und als pulsierendes DC-Signal weiterverarbeitet wird, dessen Welligkeit stark vermindert werden. Dies ergibt Vorteile hinsichtlich Verlustleistung, Geräuschdämpfung und Vibrationen.

Die Abb. 4 zeigt, wie die Spulenordnungen 5 und 5' für das radiale Magnetlager aus Abb. 2 aufgebaut und verschaltet sind. Die Spulenordnungen 5 und 5' bestehen entsprechend aus jeweils zwei Teilen 5D und 5V bzw. 5'D und 5'V mit unterschiedlicher Windungszahl. Dabei weisen die Spulen 5D und 5'D bzw. 5V und 5'V jeweils gleiche Windungszahlen auf.

Die weitere Beschreibung der Anordnung und der Funktionsweise erfolgt im einzelnen wie die Beschreibung für die axiale Anordnung.

#### Patentansprüche

1. Magnetlagerung für einen Rotor (1), dessen Antrieb aus einem Gleichstrommotor mit Permanentmagneten (2) auf dem Rotor und mit Statorspulen (3) besteht, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der permanentmagnetischen Teile (2) des Rotors eine oder mehrere zusätzliche Spulenordnungen (4, 4') bzw. (5, 5') auf der Statorseite vorhanden sind, in denen von den umlaufenden Permanentmagneten (2) Spannungen induziert werden, deren charakteristische Größen wie Amplituden und Phasen von der relativen geometrischen Lage von Permanentmagneten (2) und zusätzlichen Spulenordnungen (4, 4') bzw. (5, 5') zueinander abhängen und daß diese charakteristischen Größen als Sensorsignale zur Stabilisierung der Magnetlagerung (6) bzw. (7) benutzt werden.
2. Magnetlagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetlager (6) als Axiallager ausgebildet ist und in den zusätzlichen Spulenordnungen (4, 4') Spannungen induziert werden, welche bei einer Änderung der axialen Lage des Rotors (1) zur Stabilisierung des magnetischen Axiallagers (6) dienen.
3. Magnetlagerung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenordnungen (4) und (4') in axialer Richtung in einem Abstand voneinander und in Abständen von der Mitte (12) der Permanentmagnete (2) sich befinden.
4. Magnetlagerung nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenordnungen (4, 4') aus jeweils 2 Teilen (4D, 4V) bzw. (4'D, 4'V) mit unterschiedlicher Windungszahl bestehen und daß die Spulen (4D) und (4'D) bzw. (4V) und (4'V) jeweils gleiche Windungszahlen aufweisen.
5. Magnetlagerung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenteile (4D) und (4'D) so in Serie geschaltet sind, daß sich die induzierten Spannungen subtrahieren und somit eine Differenzspannung entsteht.
6. Magnetlagerung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenteile (4V) und (4'V) nach Abb. 3 so mit den Spulenteilen (4D) und (4'D) verbunden sind, daß zu den in den Spulenteilen (4V) und (4'V) induzierten Spannungen, welche in ihrer Phasenlage um 180° gegeneinander verschoben sind, die Differenzspannung addiert wird und zwar in einer solchen Weise, daß in Abhängigkeit von der Richtung der Rotorverschiebung die Phasenlage der Differenzspannung so ist, daß einmal ein positiver und einmal ein negativer Wert addiert wird.
7. Magnetlagerung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetlager (7) als Radiallager ausgebildet ist, und in den zusätzlichen Spulenordnungen (5, 5') Spannungen induziert werden, welche bei einer Änderung der radialen Lage des Rotors (1) zur Stabilisierung des magnetischen Radiallagers (7) dienen.

8. Magnetlagerung nach Anspruch 1 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenanordnungen (3, 5) aus jeweils 2 Teilen (5D, 5V) bzw. (5'D, 5'V) mit unterschiedlicher Windungszahl bestehen und daß die Spulen (5D) und (5'D) bzw. (5V) und (5'V) jeweils gleiche Windungszahlen aufweisen.

9. Magnetlagerung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenteile (5D) und (5'D) so in Serie geschaltet sind, daß sich die induzierten Spannungen subtrahieren und somit eine Differenzspannung entsteht.

10. Magnetlagerung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenteile (5V) und (5'V) nach Abb. 4 so mit den Spulenteilen (4D) und (4'D) verbunden sind, daß zu den in den Spulenteilen (4V) und (4'V) induzierten Spannungen, welche in ihrer Phasenlage um  $180^\circ$  gegeneinander verschoben sind, die Differenzspannung addiert wird und zwar in einer solchen Weise, daß in Abhängigkeit von der Richtung der Rotorverschiebung die Phasenlage der Differenzspannung so ist, daß einmal ein positiver und einmal ein negativer Wert addiert wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

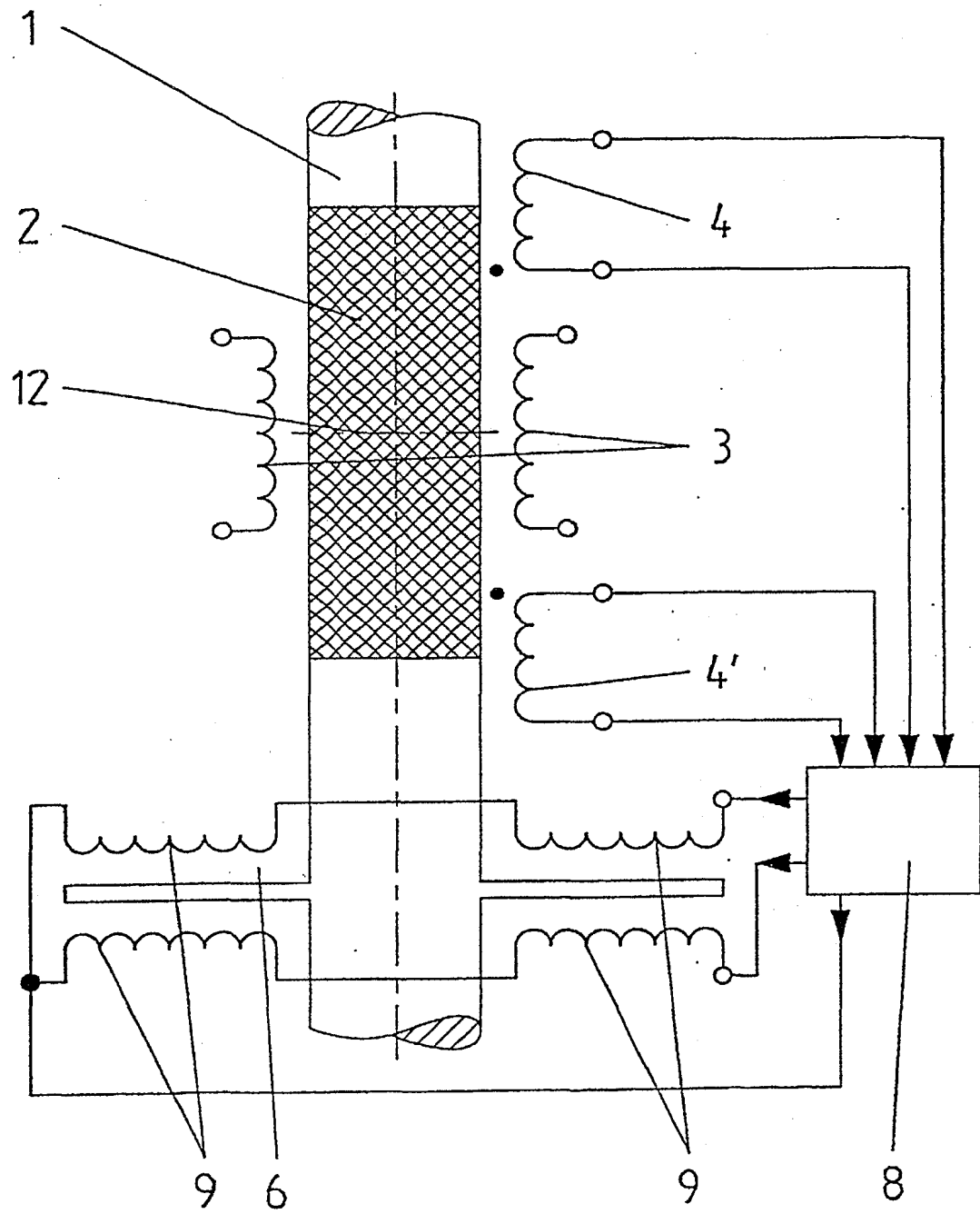


Fig. 1

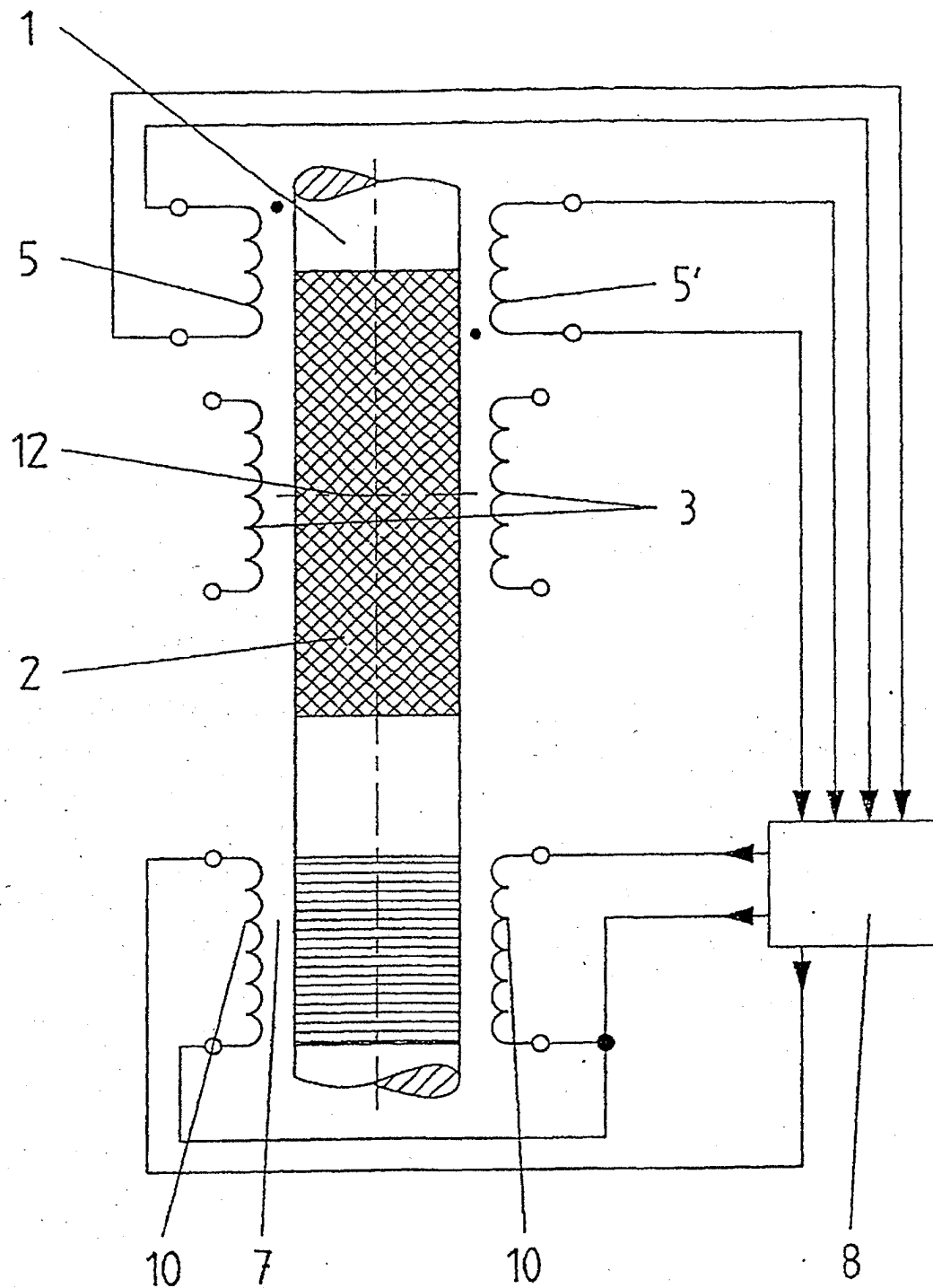


Fig. 2

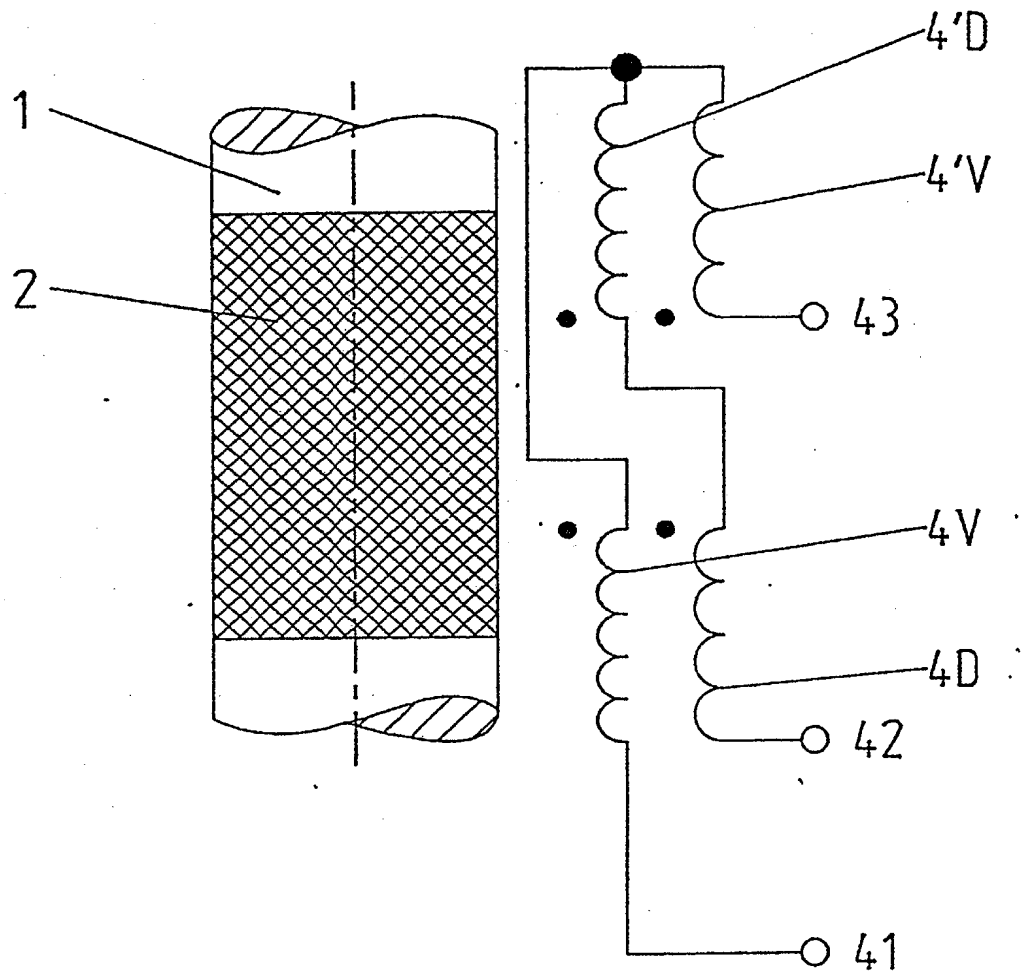


Fig. 3



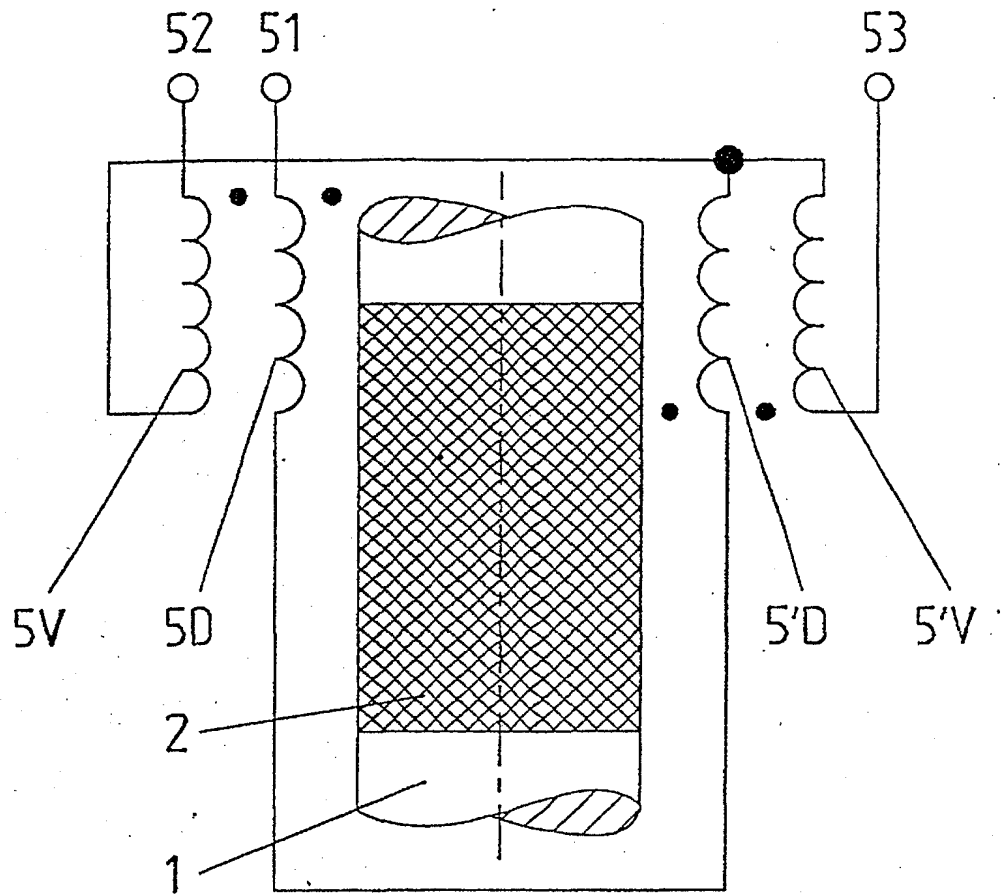


Fig. 4